

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

## IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Express Mail Label No.

Dated: \_\_\_\_\_

Docket No.: 20195/0200982-US0  
(PATENT)

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:  
Franz Hofmann et al.

Application No.: 10/805,670

Confirmation No.: 8567

Filed: March 19, 2004

Art Unit: N/A

For: SEMICONDUCTOR MEMORY ELEMENT  
ARRANGEMENT

Examiner: Not Yet Assigned

**CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

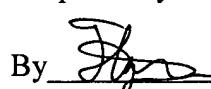
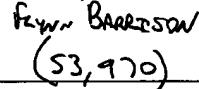
Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

Country	Application No.	Date
Germany	101 46 215.8	September 19, 2001

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: June 24, 2004

Respectfully submitted,

By    
Laura C. Brutman

Registration No.: 38,395  
DARBY & DARBY P.C.  
P.O. Box 5257  
New York, New York 10150-5257  
(212) 527-7700  
(212) 753-6237 (Fax)  
Attorneys/Agents For Applicant

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 46 215.8  
**Anmeldetag:** 19. September 2001  
**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG,  
81669 München/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicher-  
element-Anordnung, Verfahren zum Betreiben einer  
Halbleiterspeicherelement-Anordnung und Halb-  
leiterspeicherelement-Anordnung  
**IPC:** H 01 L 21/8247

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 29. April 2004

**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Agurks".

**Agurks**

**Beschreibung**

**Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicherelement-**

**Anordnung, Verfahren zum Betreiben einer**

**5 Halbleiterspeicherelement-Anordnung und**

**Halbleiterspeicherelement-Anordnung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung, ein Verfahren zum

10 Betreiben einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung und eine

) Halbleiterspeicherelement-Anordnung.

Wesentliche Parameter einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung sind die Haltezeit, für die der in den einzelnen

15 Halbleiterspeicherelementen gespeicherte Speicherinhalt erhalten bleibt, die zum Einprogrammieren des Speicherinhalts erforderliche Schreibzeit und die zum Einprogrammieren des Speicherinhalts notwendigen Schreibspannungen.

20 Ein bekanntes Halbleiterspeicherelement ist das RAM-Speicherelement (RAM= **R**andom **A**ccess **M**emory), welches zwar relativ schnelle Schreibzeiten von wenigen Nanosekunden,

) jedoch infolge unvermeidlicher Leckströme nur kurze Haltezeiten aufweist, so dass in regelmäßigen zeitlichen

25 Abständen von etwa 100ms ein Wiederaufladen des RAM-Speicherelementes notwendig ist.

Demgegenüber ermöglicht das sogenannte EPROM-Speicherelement (EPROM= **E**lectrically **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory) zwar

30 relativ lange Haltezeiten von mehreren Jahren, jedoch sind die zum Einprogrammieren des Speicherinhalts notwendigen Schreibzeiten wesentlich größer als beim RAM-Speicherelement.

Es besteht daher ein Bedarf an Halbleiterspeicherelementen, bei denen schnelle Schreibzeiten (von etwa 10 Nanosekunden) mit langen Haltezeiten (von mehr als einem Jahr) und niedrigen Schreibspannungen kombiniert sind.

5

In [1] ist ein sogenanntes „crested barrier“-Speicherelement vorgeschlagen worden, bei dem das Be- bzw. Entladen eines Floating Gates über eine serielle Anordnung von (typischerweise drei) Tunnelbarrieren erfolgt, wobei die 10 Tunnelbarrieren eine profilierte (= „crested“) Form besitzen. Hierbei sind die Tunnelbarrieren nicht wie üblich in Form eines Rechteckpotentials mit konstanter Höhe der Potentialbarriere ausgebildet, sondern mittels „Peaks“ oder „Zacken“ profiliert.

15

Da eine solche „profilierte“ Tunnelbarriere gegenüber einer herkömmlichen Tunnelbarriere eine größere Ladungstransmission sowie eine größere Sensitivität für die anliegende Spannung aufweist, lassen sich mit einem derartigen „crested barrier“- 20 Halbleiterspeicherelement jedenfalls theoretisch relativ schnelle Schreibzeiten erreichen. Jedoch sind die zum Schreiben erforderlichen Schreibspannungen relativ groß, da zum Aufbau der „crested barrier“- Struktur Schichtstrukturen mit flächig verteilten, in relativ großem Abstand von ca. 25 3-5 nm zueinander angeordneten Nanokristallen benötigt werden, bei denen die Kopplung zwischen benachbarten Schichten relativ schwach ist.

Aus EP 0 908 954 A2 (= [2]) ist ein Vorschlag für ein 30 sogenanntes PLED-Speicherelement (PLED= Planar Localized Electron Device) bekannt, welches zwei Wortleitungen sowie eine Source-, eine Drain- und eine Datenleitung in einer 5-terminalen Anordnung aufweist. Auf einem über einem Substrat

aufgebrachten Floating Gate ist eine Vielfach-Tunnelbarriere aufgewachsen. Das PLED-Speicherelement weist einen Schreibtransistor und einen Lesetransistor auf. Hierbei wird das Substrat des Schreibtransistors durch die Vielfach-  
5 Tunnelbarriere und das Gate des Schreibtransistors durch die zweite Wortleitung gebildet. Das Floating Gate selbst bildet das Gate des Lesetransistors. Bei diesem PLED-Speicherelement lassen sich kurze Schreibzeiten (ähnlichen denen eines RAM-Speicherelementes) und lange Haltezeiten (ähnlich denen eines  
10 ROM-Speicherelementes) erreichen. Zudem sind die erforderlichen Schreibspannungen wesentlich geringer als bei dem oben genannten „crested barrier“- Speicherelement.

Das Herstellungsverfahren eines solchen PLED-Speicherelements  
15 ist jedoch relativ aufwendig, wie im folgenden erläutert wird.

Bei dem bekannten Herstellungsverfahren des PLED-Speicherelements wird zunächst auf einem von einer Gate-  
20 Isolationsschicht bedeckten Substrat ein Floating Gate (Speicherknoten, memory node) selektiv ausgebildet, woraufhin dessen Seitenwände von einer isolierenden Schicht abgedeckt werden. Eine erste Gate-Elektrode wird dadurch ausgebildet, dass zunächst eine Polysilizium-Schicht ganzflächig  
25 aufgebracht wird. Dann wird Photoresist dort aufgebracht, wo die erste Gate-Elektrode ausgebildet werden soll, und ein anisotroper Ätzschritt wird durchgeführt. Da das anisotrope Ätzen nicht in horizontaler Richtung erfolgt, verbleibt das Polysilizium auch an der Seitenwand des Floating Gates, womit  
30 die erste Gate-Elektrode ausgebildet wird.

Anschließend wird auf der so erhaltenen Struktur eine Vielfach-Tunnelbarriere ausgebildet, und eine zweite Gate-

Elektrode wird benachbart zu der Vielfach-Tunnelbarriere und  
in entsprechender Weise wie die erste Gate-Elektrode durch  
ganzflächiges Aufbringen einer Polysilizium-Schicht,  
selektives Aufbringen eines Photoresist und anisotropes Ätzen  
5 der Polysilizium-Schicht ausgebildet.

Zur Vereinfachung des Herstellungsprozesses ist es aus [2]  
auch bekannt, die beiden Wortleitungen zu einer gemeinsamen  
Wortleitung zusammenzufassen. Im Betrieb des PLED-  
10 Speicherelements wird dann durch Anlegen einer elektrischen  
Spannung an die einzige Wortleitung ein Elektronentransport  
über die Vielfach-Tunnelbarriere hinweg ermöglicht, und das  
Floating Gate wird entsprechend aufgeladen. Der Leseprozess  
verläuft derart, dass ebenfalls eine Spannung an die  
15 Wortleitung angelegt wird, um zu testen, wie hoch die  
Einsatzspannung des Floating Gate Transistors ist. Die beim  
Leseprozess an die Wortleitung angelegte Spannung verringert  
jedoch die Sperreigenschaften der Vielfach-Tunnelbarriere, so  
dass das Floating Gate teilweise entladen wird. Infolgedessen  
20 wird die Ladung auf dem Floating Gate bei jedem Leseprozess  
etwas verringert, so dass der Leseprozess nicht mehr  
störungsfrei erfolgt.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren  
25 zum Herstellen einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung, ein  
Verfahren zum Betreiben einer Halbleiterspeicherelement-  
Anordnung und eine Halbleiterspeicherelement-Anordnung zu  
schaffen, welche bei Gewährleistung eines störungsfreien  
Betriebes eine einfachere Herstellung ermöglichen.

30 Das Problem wird durch das Verfahren zum Herstellen einer  
Halbleiterspeicherelement-Anordnung, das Verfahren zum  
Betreiben einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung und die

Halbleiterspeicherelement-Anordnung gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Bei einem Verfahren zum Herstellen einer

5 Halbleiterspeicherelement-Anordnung wird eine erste elektrisch isolierende Schicht auf einem Substrat aufgebracht.

Auf der ersten elektrisch isolierenden Schicht wird ein

10 Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung aufgebracht.

Benachbart zum Floating Gate wird eine erste Gate-Elektrode

15 ausgebildet, über die dem Floating Gate elektrische Ladung zuführbar bzw. von diesem abführbar ist.

Benachbart zur Tunnelbarrieren-Anordnung wird eine zweite Gate-Elektrode ausgebildet, über welche die elektrische

20 Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung steuerbar ist.

Die erste und die zweite Gate-Elektrode werden in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden ersten Gräben und einer in dem Schichtsystem ausgebildeten zweiten Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet.

Dadurch, dass zunächst das Floating Gate ebenso wie die Tunnelbarrieren-Anordnung auf dem Substrat schichtweise

aufgebracht werden, dann in dieser Schichtabfolge eine erste und zweite Grabenstruktur ausgebildet wird und erst dann die erste und zweite Gate-Elektrode benachbart zu der Tunnelbarrieren-Anordnung bzw. benachbart zu dem Floating

5 Gate in diesen Grabenstrukturen ausgebildet werden, wird das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren gegenüber dem bekannten Verfahren erheblich vereinfacht. Die beiden Gate-Elektroden werden hierbei selbstjustierend als Spacer ausgebildet.

10

Bei der so hergestellten Halbleiterelementanordnung erfolgt das Schreiben bzw. Löschen von Daten durch Anlegen einer positiven elektrischen Spannung an die zweite Gate-Elektrode und Anlegen einer negativen bzw. positiven elektrischen

15 Spannung an die Datenleitung. Die an der zweiten Gate-Elektrode anliegende positive Spannung erhöht während des Schreib- bzw. Löschprozesses die elektrische Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung und ermöglicht die Zu- bzw. Abfuhr elektrischer Ladung zu bzw. 20 von dem Floating Gate und damit ein Invertieren des zwischen Source- und Drain-Bereich im Substrat befindlichen Kanals.

Der Leseprozess erfolgt durch Anlegen einer positiven Spannung an die erste Gate-Elektrode, um die Einsatzspannung 25 des durch das Floating Gate und den Source- bzw. Drain-Anschluss gebildeten Lesetransistors zu testen. Beim Lesen wird also bei zwischen Source- und Drain-Bereich anliegender elektrischer Spannung je nach invertiertem oder nicht-invertiertem Zustand des Kanals ein Stromfluss im Kanal 30 nachgewiesen oder nicht.

Dadurch, dass zum Lesen nur die erste Gate-Elektrode und zum Schreiben nur die zweite Gate-Elektrode verwendet werden,

wird eine Verringerung der auf dem Floating Gate befindlichen elektrischen Ladung über die Vielfach-Tunnelbarriere während des Leseprozesses verhindert, so dass das Lesen störungsfrei erfolgen kann.

5

Bei der mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellten Halbleiterspeicherelement-Anordnung lassen sich zudem besonders hohe Speicherdichten von  $4*f^2$  ( $f$ = „minimum feature size“= minimale Strukturgröße) realisieren, so dass eine hochdichte Anordnung von Speicherzellen erreicht wird.

10

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird zur Ausbildung der ersten und zweiten Grabenstruktur eine zweite elektrisch isolierende Schicht auf der Tunnelbarrieren-Anordnung aufgebracht und entsprechend der ersten und zweiten Grabenstruktur strukturiert.

15

20

25

Das Strukturieren der auf der Tunnelbarrieren-Anordnung aufgebrachten zweiten elektrisch isolierenden Schicht weist bevorzugt folgende Schritte auf:

30

- Durchführen eines ersten Photolithographie-Schrittes unter Verwendung einer ersten Photomaske, welche ein Muster aus parallelen streifenförmigen Öffnungen aufweist, deren Breite der minimalen Strukturgröße entspricht; und
- Durchführen eines zweiten Photolithographie-Schrittes unter Verwendung einer zweiten Photomaske, welche ein Muster aus parallelen, zu den streifenförmigen Öffnungen der ersten Photomaske senkrecht angeordneten streifenförmigen Öffnungen aufweist, deren Breite der minimalen Strukturgröße entspricht.

Nach dem ersten Photolithographie-Schritt und vor dem zweiten Photolithographie-Schritt werden bevorzugt in den ersten Gräben Spacer auf der zweiten elektrisch isolierenden Schicht ausgebildet.

5

Die ersten Gräben weisen bevorzugt eine geringere Breite als die zweiten Gräben auf.

Die erste und die zweite Gate-Elektrode werden bevorzugt in

10 den zweiten Gräben der zweiten Grabenstruktur als Spacer ausgebildet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist der Schritt des Ausbildens der ersten Gate-Elektrode in der ersten und

15 zweiten Grabenstruktur die folgenden Schritte auf:

- Aufbringen einer dritten elektrisch isolierenden Schicht auf den Seitenwänden der ersten und zweiten Grabenstruktur;

- Aufbringen einer ersten Polysiliziumschicht auf der dritten elektrisch isolierenden Schicht unter Auffüllung der Breite der ersten Gräben und Ausbildung von ersten Polysilizium-Spacern in den zweiten Gräben zur Ausbildung der ersten Gate-Elektrode.

25 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist der Schritt des Ausbildens der zweiten Gate-Elektrode in der ersten und zweiten Grabenstruktur die folgenden Schritte auf:

- Aufbringen einer vierten elektrisch isolierenden Schicht auf der ersten Polysiliziumschicht;

- Aufbringen einer zweiten Polysiliziumschicht auf der dritten und vierten elektrisch isolierenden Schicht unter Auffüllung der Breite der ersten Gräben und Ausbildung von zweiten Polysilizium-Spacern in den

zweiten Gräben zur Ausbildung der zweiten Gate-Elektrode.

Die erste, zweite, dritte und vierte isolierende Schicht  
5 können beispielsweise aus Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid gebildet werden.

Die erste und die zweite Gate-Elektrode werden bevorzugt aus Polysilizium gebildet.

10 ) Die Tunnelbarrieren-Anordnung wird bevorzugt als Schichtstapel mit einer abwechselnden Schichtfolge von halbleitenden und isolierenden Schichten zur Ausbildung einer Vielfach-Tunnelbarriere ausgebildet.

15 ) Die halbleitenden Schichten des Schichtstapels werden bevorzugt aus undotiertem Polysilizium gebildet, wohingegen die isolierenden Schichten des Schichtstapels bevorzugt aus Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid gebildet werden.

20 ) Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die halbleitenden Schichten des Schichtstapels mit einer Dicke im Bereich von 30 bis 50 nm und die isolierenden Schichten mit einer Dicke im Bereich von 2 bis 4 nm ausgebildet.

25 ) Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die halbleitenden Schichten des Schichtstapels mit einer Dicke sowie einer Korngröße von maximal 2 nm und die isolierenden Schichten mit einer Dicke von maximal 1,5 nm ausgebildet. Die 30 leitenden Schichten bilden in diesem Falle sehr dünne Lagen von feinkörnigen Kristallen (z.B. Polysilizium-Kristallen). Eine derartige dünne Schicht von polykristallinem Silizium kann als zweidimensionales Gitter von leitenden Inseln

angesehen werden, die durch sehr kleine Kapazitäten miteinander verbunden sind.

Hierbei sind die Abstände zwischen den Nanokristallen aus  
5 Polysilizium gut kontrollierbar. Damit wird eine Coulomb-  
Blockade gezielt einsetzbar, so dass die Schreibzeit der  
Speicherzelle weiter verkürzt wird. Die vertikale Trennung  
von mehreren solcher Schichten durch isolierende Schichten,  
z.B. aus Siliziumdioxid, führt in vertikaler Richtung zu  
10 einem regelmäßigen Gitter von leitenden Inseln, die durch gut  
einstellbare elektrische Widerstände miteinander verbunden  
sind.

Alternativ können die halbleitenden Schichten auch aus  
15 amorphem Silizium gebildet werden.

Bei einem Verfahren zum Betreiben einer  
Halbleiterspeicherelement-Anordnung mit einer auf einem  
Substrat aufgebrachten ersten isolierenden Schicht und einem  
20 auf der ersten isolierenden Schicht aufgebrachten  
Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem  
Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung wird  
die elektrische Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-  
Anordnung zu dem Floating Gate über eine zweite Gate-  
25 Elektrode gesteuert, wobei die erste und die zweite Gate-  
Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten  
Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis  
zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden ersten Gräben  
und einer in dem Schichtsystem ausgebildeten zweiten  
30 Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den  
ersten Gräben angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden  
Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet sind.

Zum Lesen von Daten der Halbleiterspeicherelement-Anordnung wird bevorzugt eine elektrische Spannung an die erste Gate-Elektrode bei spannungsloser zweiter Gate-Elektrode angelegt.

- 5 Zum Schreiben oder Löschen von Daten der Halbleiterspeicherelement-Anordnung wird bevorzugt eine elektrische Spannung an die zweite Gate-Elektrode bei spannungsloser erster Gate-Elektrode angelegt.
- 10 In einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung, bei der eine Mehrzahl von Halbleiterspeicherelementen in einer Mehrzahl von Zeilen und Spalten matrixartig angeordnet sind, weist jedes Halbleiterspeicherelement auf
  - eine auf einem Substrat aufgebrachte erste elektrisch isolierende Schicht,
  - ein auf der ersten elektrisch isolierenden Schicht aufgebrachtes Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung;
  - eine zum Floating Gate benachbarte erste Gate-Elektrode, die zum Lesen des Zustands des Floating Gate Transistors dient;
  - und eine zur Tunnelbarrieren-Anordnung benachbarte zweite Gate-Elektrode, über welche die Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung steuerbar ist;
- 15 wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis zur ersten
- 20 dient;
- 25 und eine zur Tunnelbarrieren-Anordnung benachbarte zweite Gate-Elektrode, über welche die Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung steuerbar ist;
- 30 wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben

angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren  
5 dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

Es zeigen:

Figuren 1a - 1g Querschnitte einer Halbleiterspeicher-  
10 element-Anordnung gemäß einem

Ausführungsbeispiel der Erfindung zu  
verschiedenen Zuständen während deren  
Herstellung;

15 Figuren 2a - 2g Querschnitte der Halbleiterspeicher-  
element-Anordnung aus Figur 1 zu  
entsprechenden Zuständen während deren  
Herstellung in gegenüber Figur 1 senkrechter  
Schnittrichtung;

20 Figuren 3a - 3c schematische Darstellungen der bei der  
Herstellung der Halbleiterspeicherelement-  
Anordnung gemäß Figur 1 und 2 verwendeten  
Photomasken;

25 Figur 4 eine schematische Darstellung einer  
erfindungsgemäßen Halbleiterspeicherelement-  
Anordnung in Draufsicht; und

30 Figur 5 ein Programmierbeispiel der  
Halbleiterspeicherelement-Anordnung aus Figur  
4.

Anhand von **Fig.1a-g** und **Fig.2a-g** wird zunächst das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Halbleiter-speicherelement-Anordnung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel erläutert, wobei die in **Fig.1a-g** bzw.

5 **Fig.2a-g** dargestellten Querschnittsansichten jeweils für zueinander senkrechten Schnittebenen dargestellt sind.

Gemäß **Fig.1a** wird zunächst auf einem Substrat ein Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem 10 Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung ausgebildet.

Hierzu wird in einem ersten Schritt ein Siliziumsubstrat 101 mittels einer Implantationsmaske abgedeckt, woraufhin eine 15 Arsen-Implantation mit einer Dosis von etwa  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  zur Ausbildung von Source- bzw.- Drain-Bereichen 102, 103 in dem Siliziumsubstrat 101 durchgeführt wird. Die hierbei verwendete Implantationsmaske 203 ist in **Fig.3c** schematisch dargestellt und weist ein Muster aus parallel zueinander 20 angeordneten, streifenförmigen Öffnungen 203a, ..., 203n auf, deren Abstand dem gewünschten Abstand der Source- bzw. Drain-Bereiche 102, 103 entspricht.

Anschließend wird auf dem Siliziumsubstrat eine elektrisch 25 isolierende Schicht 104 aus Siliziumdioxid der Dicke von etwa 6 - 10 nm aufgewachsen. Zum Aufwachsen der Schicht 104 wird ebenso wie zum Aufwachsen der nachfolgenden Schichten das Verfahren der Gasphasenabscheidung (CVD= **chemical vapour deposition**) angewandt.

30 Auf der Schicht 104 wird eine etwa 50 nm dicke Schicht 105 aus Polysilizium aufgewachsen. Die Schicht 105 dient zur

Ausbildung eines Floating Gates der Halbleiterspeicher-element-Anordnung 100.

Auf der Schicht 105 werden in abwechselnder Schichtfolge  
5 elektrisch isolierende Barriereschichten 106, 108 und 110 aus  
Siliziumnitrid ( $Si_3N_4$ ) und halbleitende Schichten 107, 109  
und 111 aus Polysilizium aufgewachsen. Der aus den elektrisch  
isolierenden bzw. halbleitenden Schichten 106 - 110 gebildete  
Schichtstapel dient zur Ausbildung einer Vielfach-  
10 Tunnelbarriere der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 100.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die  
Polysiliziumschichten 107 und 109 eine Dicke von etwa 40 nm,  
die Polysiliziumschicht 111 eine Dicke von etwa 50 nm, und  
15 die Barriereschichten 106, 108 und 110 eine Dicke von etwa  
2 nm auf.

In einem nächsten Schritt wird gemäß **Fig.1b** bzw. **Fig.2b** auf  
der Polysiliziumschicht 111 eine zweite elektrisch  
20 isolierende Schicht 112 aus Siliziumnitrid aufgebracht.

In die zweite elektrisch isolierende Schicht 112 werden in  
einem ersten Photolithographie-Schritt unter Verwendung einer  
ersten, in **Fig.3a** schematisch dargestellten Photomaske 201  
25 parallel zueinander angeordnete Gräben mit einer Breite von  
etwa 150 nm geätzt. Die Photomaske 201 weist eine Vielzahl  
von parallel zueinander angeordneten, streifenförmigen  
Öffnungen 201a,...,201n auf, deren Abstand der minimalen  
Strukturgröße (z.B. 150 nm) entspricht.

30 Unter Verwendung der Photomaske 201 wird das Silliziumnitrid  
trocken geätzt.

Nach Entfernung des Photolacks wird wiederum Siliziumnitrid auf die freigelegten Bereiche der Polysiliziumschicht 111 aufgebracht, woraufhin gemäß **Fig.1b** eine Spacer-Ätzung zur Ausbildung von Siliziumnitrid-Spacern 113 durchgeführt wird.

5 Hierdurch werden erste Gräben 114 mit einer Breite von etwa 50 nm ausgebildet.

Anschließend wird, wie aus **Fig.2b** ersichtlich, unter Verwendung einer zweiten, in **Fig.3b** schematisch dargestellten 10 Photomaske 202, ein zweiter Photolithographie-Schritt durchgeführt.

Die Photomaske 202 weist wie die Photomaske 201 eine Vielzahl von parallel zueinander angeordneten, streifenförmigen 15 Öffnungen 202a,...,202n auf, deren Abstand der minimalen Strukturgröße (z.B. 150 nm) entspricht. Die zweite Photomaske wird senkrecht zu der ersten Photomaske positioniert. Nun wird das Siliziumnitrid trocken geätzt, so dass gemäß **Fig.2b** senkrecht zu den in **Fig.1b** dargestellten ersten Gräben 114 20 zweite Gräben 115 mit einer Breite von etwa 150 nm ausgebildet werden. Anschließend wird der Photolack entfernt.

In einem nächsten Schritt werden gemäß **Fig.1c** bzw. **Fig.2c** die nicht von Siliziumnitrid bedeckten Bereiche der 25 Schichtstruktur aus Polysiliziumschicht 111, Vielfach-Tunnelbarriere 106-110 und Floating Gate 105 geätzt, so dass eine erste Grabenstruktur 116 mit zueinander parallelen Gräben 117, vgl. **Fig.1c**, und eine zweite Grabenstruktur 118 mit parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben 30 117 angeordneten zweiten Gräben 119, vgl. **Fig.2c**, ausgebildet werden. Die ersten und zweiten Gräben 117, 119 erstrecken sich jeweils parallel zu der Stapelrichtung des

Schichtstapels 106-110 bis zu der elektrisch isolierenden Siliziumdioxidschicht 104.

Anschließend wird auf den Seitenwänden der ersten bzw.  
5 zweiten Grabenstruktur 116, 118 eine dritte elektrisch isolierende Schicht 120 aus Siliziumdioxid aufgebracht. Auf der dritten elektrisch isolierenden Schicht 120 wird eine Polysiliziumschicht 121 aufgebracht. Die Polysiliziumschicht 121 weist eine Schichtdicke von etwa 50 nm auf, so dass in  
10 der zweiten Grabenstruktur 118 Polysilizium-Spacer 122 ausgebildet werden.

Die Polysiliziumschicht 121 bzw. die Polysilizium-Spacer 122 dienen zur Ausbildung der ersten Gate-Elektrode, welche zum  
15 Lesen des Zustands des Floating Gate Transistors dient, d.h. zum Ermitteln der in dem Floating Gate gespeicherten elektrischen Ladungsträger.

Nach einem Rückätzen der Polysilizium-Schicht 121 bzw. der  
20 Polysilizium-Spacer 122 wird in einem nächsten Schritt gemäß **Fig.1d** bzw. **Fig.2d** eine vierte elektrisch isolierende Schicht 123 aus Siliziumdioxid aufgebracht und anschließend rückgeätzt, wobei gemäß **Fig.2d** die Bereiche zwischen den  
25 Polysilizium-Spacern 122 vollständig mit Siliziumdioxid aufgefüllt werden und die Polysilizium-Schicht 121 und der Polysilizium-Spacer 122 noch von der vierten elektrisch isolierenden Schicht 123 aus Siliziumdioxid bedeckt bleiben.

Auf die isolierende Schicht 123 aus Siliziumdioxid wird gemäß  
30 **Fig.1e** bzw. **Fig.2e** wiederum eine Polysiliziumschicht 124 aufgebracht. Die Polysiliziumschicht 124 weist wie die Polysiliziumschicht 121 eine Schichtdicke von etwa 50 nm auf, so dass in der zweiten Grabenstruktur 118 Polysilizium-Spacer

125 ausgebildet werden. Die Höhe der Polysiliziumschicht 124 und der Polysilizium-Spacer 125 bilden eine zumindest teilweise seitliche Überlappung mit der Polysiliziumschicht 111.

5

Die Polysiliziumschicht 124 bzw. die Polysilizium-Spacer 125 dienen zur Ausbildung der zweiten Gate-Elektrode, wobei durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die zweite Gate-Elektrode die elektrische Ladungstransmission der Vielfach-Tunnelbarriere steuerbar ist.

Gemäß der Darstellung in **Fig.1e** bzw. **Fig.2e** ragt die Höhe des Floating Gates 105 etwas über den Bereich der isolierenden Schicht 123 hinaus, so dass das Floating Gate 105 einerseits und die Polysiliziumschicht 124 bzw. die Polysilizium-Spacer 125 andererseits zur Ausbildung der zweiten Gate-Elektrode in vertikaler Richtung miteinander überlappen. Es ist jedoch bei der Herstellung bzw. bei der Wahl der einzelnen Schichtdicken darauf zu achten, dass dieser überlappende Bereich möglichst gering ist, um eine störende Wechselwirkung der zweiten Gate-Elektrode mit dem Floating Gate 105 beim Schreiben bzw. Löschen von Daten in der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 100 zu verhindern.

25 In einem nächsten Schritt werden die Schichten 112, 113 aus Siliziumnitrid vollständig weggeätzt, woraufhin gemäß **Fig.1f** bzw. **Fig.2f** eine fünfte elektrisch isolierende Schicht 126 aus Siliziumdioxid zunächst abgeschieden und anschließend mittels CMP (= **chemical mechanical polishing**) geglättet wird.

30 In die Schicht 126 wird mittels Photolithographie ein Graben (Trench) geätzt. Nach Abscheidung einer Wolfram-Schicht 127 wird die Datenleitung 127 unter Einsatz von chemisch mechanischen Polierens (CMP) strukturiert. Die

Halbleiterspeicherelement-Anordnung 100 ist damit fertiggestellt.

5 In **Fig. 4** ist eine nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellte Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 in Draufsicht schematisch dargestellt.

Die Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 weist insgesamt sechzehn matrixartig angeordnete Halbleiterspeicherelemente

10 F<sub>11</sub>, F<sub>12</sub>, ..., F<sub>44</sub> auf. Jedes Halbleiterspeicherelement F<sub>11</sub>,  
F<sub>12</sub>, ..., F<sub>44</sub> weist wie oben beschrieben ein Floating Gate auf, auf dem jeweils eine Vielfach-Tunnelbarriere aufgebracht ist.

15 Zwischen den Halbleiterspeicherelementen F<sub>11</sub>, F<sub>12</sub>, ..., F<sub>44</sub> erstreckt sich in vertikaler Richtung eine erste Grabenstruktur 301 und in horizontaler Richtung eine zweite Grabenstruktur 302. In den in **Fig. 4** schraffiert dargestellten Bereichen 304 sind die erste bzw. zweite Gate-Elektrode  
20 ausgebildet.

Die erste bzw. zweite Gate-Elektrode erstrecken sich gemäß **Fig. 4** senkrecht zur Zeichenebene in den ersten bzw. zweiten Grabenstrukturen 301, 302, wobei die ersten Gate-Elektroden benachbart zu den Floating Gates und die zweiten Gate-Elektroden benachbart zu den Vielfach-Tunnelbarrieren der Halbleiterspeicherelemente F<sub>11</sub>, F<sub>12</sub>, ..., F<sub>44</sub> ausgebildet sind..

30 Wie oben beschrieben kann somit durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die erste Gate-Elektrode dem der

Inhalt jeder Speicherzelle gelesen werden. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die zweite Gate-Elektrode kann die elektrische Ladungstransmission der Vielfach-Tunnelbarriere jeder Speicherzelle gesteuert werden.

5

Die Richtung der Source- bzw. Drain-Bereiche sowie der Datenleitung ist durch den Pfeil 303 dargestellt.

Wie aus **Fig.4** sowie dem in **Fig.1** und **Fig.2** dargestellten Herstellungsprozess ersichtlich ist, weisen die erste und die zweite Grabenstruktur 301, 302 eine unterschiedliche Breite auf. Während in der ersten Grabenstruktur 301 die gesamte Breite der ausgebildeten Gräben von Polysilizium zur Ausbildung der ersten bzw. zweiten Gate-Elektrode ausgefüllt wird, werden in der zweiten Grabenstruktur 302 die erste bzw. zweite Gate-Elektrode als Spacer ausgebildet. In der zweiten Grabenstruktur sind somit jeweils zwei erste bzw. zweite Gate-Elektroden ausgebildet, die durch eine elektrisch isolierende, zwischen den jeweiligen Spacern verlaufende Schicht voneinander getrennt sind.

Wie in **Fig.4** am Beispiel des Halbleiterspeicherelementes F<sub>23</sub> gezeigt ist, besitzt hierbei jedes der Halbleiterspeicherelemente F<sub>11</sub>, ..., F<sub>44</sub> eine Fläche von  $(2f) * (2f) = 4 * f^2$ , wobei „f“ die sogenannte minimale Strukturgröße („minimal feature size“) darstellt. Die Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 bildet somit eine hochdichte Rasterstruktur. Die Anordnung der einzelnen Speicherzellen entspricht hierbei einem sogenannten „virtual ground Array“.

Ein Programmierbeispiel der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 aus **Fig.4** wird anhand von **Fig.5** erläutert.

Demnach erfolgt gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel  
5 ein Schreiben von Daten in der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 durch Anlegen einer positiven Spannung von +3 Volt an die zweite Gate-Elektrode und Anlegen einer negativen Spannung von -3 Volt an die Datenleitung 210. Das Löschen von Daten erfolgt entsprechend durch Anlegen einer positiven Spannung von +3 Volt an die zweite Gate-Elektrode  
10 und Anlegen einer positiven Spannung von +3 Volt an die Datenleitung.

Die an der zweiten Gate-Elektrode anliegende Spannung von  
15 +3 Volt erhöht beim Schreib- bzw. Löschprozess die elektrische Ladungstransmission der Vielfach-Tunnelbarriere und ermöglicht die Zu- bzw. Abfuhr elektrischer Ladung zu bzw. von dem Floating Gate 105 und damit ein Invertieren des zwischen den Source- und Drain-Bereichen befindlichen Kanals.

20 Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt das Lesen von Daten in der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 durch Anlegen einer positiven Spannung von +3 Volt an die erste Gate-Elektrode und Anlegen einer geringeren positiven  
25 Spannung von beispielsweise +2 Volt an alle Drain-Leitungen, während alle Source-Leitungen auf 0 Volt gesetzt werden.

Das Schreiben von Daten in der Halbleiterspeicherelement-Anordnung 300 entspricht dem Setzen einer logischen „1“ und  
30 das Löschen dem Setzen einer logischen „0“. Das Setzen dieser logischen Werte erfolgt immer auf der gesamten angesprochenen Wortleitung mit Hilfe der entsprechenden Daten-Leitungen.  
Beim Lesen wird an die erste Gate-Elektrode eine Spannung von

+3 Volt angelegt und bei Anlegen einer geringen Spannung von + 2 Volt an die Drain-Leitung wird somit je nach invertiertem oder nicht-invertiertem Zustand des Kanals ein Stromfluss im Kanal nachgewiesen (entsprechend einem Bit „1“) oder nicht 5 (entsprechend einem Bit „0“).

Dadurch, dass zum Lesen von Daten aus der erfindungsgemäßen Halbleiterspeicherelement-Anordnung nur die erste Gate-Elektrode und zum Schreiben von Daten nur die zweite Gate-Elektrode verwendet wird, wird eine Verringerung der auf dem Floating Gate befindlichen elektrischen Ladung über die Vielfach-Tunnelbarriere während des Leseprozesses verhindert, so dass der Leseprozess störungsfrei erfolgen kann.

In diesem Dokument sind die folgenden Veröffentlichungen zitiert:

[1] K.K. Likharev, „Layered tunnel barriers for non-volatile memory devices, Applied Physics Letters Vol. 73, Seiten 2137-2139.

[2] EP 0 908 954 A2 ("Semiconductor memory device and manufacturing method thereof"; Anm.: Hitachi Ltd.)

10

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung, welches die folgenden Schritte aufweist:
  - Aufbringen einer ersten elektrisch isolierenden Schicht auf einem Substrat;
  - Aufbringen eines Schichtsystems aus einem Floating Gate und einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung auf der ersten isolierenden Schicht;
  - Ausbilden einer zum Floating Gate benachbarten ersten Gate-Elektrode, über die dem Floating Gate elektrische Ladung zuführbar bzw. von diesem abführbar ist, und einer zur Tunnelbarrieren-Anordnung benachbarten zweiten Gate-Elektrode, über welche die elektrische Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung steuerbar ist;
  - wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden ersten Gräben und einer in dem Schichtsystem ausgebildeten zweiten Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Ausbildung der ersten und zweiten Grabenstruktur eine zweite elektrisch isolierende Schicht auf der Tunnelbarrieren-

Anordnung aufgebracht und entsprechend der ersten und zweiten Grabenstruktur strukturiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Strukturieren der  
5 auf der Tunnelbarrieren-Anordnung aufgebrachten zweiten elektrisch isolierenden Schicht folgende Schritte aufweist:

- Durchführen eines ersten Photolithographie-Schrittes unter Verwendung einer ersten Photomaske, welche ein Muster aus parallelen streifenförmigen Öffnungen aufweist, deren Breite der minimalen Strukturgröße entspricht; und
- Durchführen eines zweiten Photolithographie-Schrittes unter Verwendung einer zweiten Photomaske, welche ein Muster aus parallelen, zu den streifenförmigen Öffnungen der ersten Photomaske senkrecht angeordneten streifenförmigen Öffnungen aufweist, deren Breite der minimalen Strukturgröße entspricht.

20 4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei nach dem ersten Photolithographie-Schritt und vor dem zweiten Photolithographie-Schritt in den ersten Gräben Spacer auf der zweiten isolierenden Schicht ausgebildet werden.

25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten Gräben eine geringere Breite als die zweiten Gräben aufweisen.

30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in den

zweiten Gräben der zweiten Grabenstruktur als Spacer ausgebildet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 wobei der Schritt des Ausbildens der ersten Gate-Elektrode in der ersten und zweiten Grabenstruktur die folgenden Schritte aufweist:

- Aufbringen einer dritten elektrisch isolierenden Schicht auf den Seitenwänden der ersten und zweiten Grabenstruktur;
- Aufbringen einer ersten Polysiliziumschicht auf der dritten elektrisch isolierenden Schicht unter Auffüllung der Breite der ersten Gräben und Ausbildung von ersten Polysilizium-Spacern in den zweiten Gräben zur Ausbildung der ersten Gate-Elektrode.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 wobei der Schritt des Ausbildens der zweiten Gate-Elektrode in der ersten und zweiten Grabenstruktur die folgenden Schritte aufweist:

- Aufbringen einer vierten elektrisch isolierenden Schicht auf der ersten Polysiliziumschicht;
- Aufbringen einer zweiten Polysiliziumschicht auf der dritten und vierten elektrisch isolierenden Schicht unter Auffüllung der Breite der ersten Gräben und Ausbildung von zweiten Polysilizium-Spacern in den zweiten Gräben zur Ausbildung der zweiten Gate-Elektrode.

30 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
wobei die erste, zweite, dritte und vierte elektrisch

isolierende Schicht aus Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid gebildet werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode aus Polysilizium gebildet werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 wobei die Tunnelbarrieren-Anordnung als Schichtstapel mit einer abwechselnden Schichtfolge von halbleitenden und isolierenden Schichten zur Ausbildung einer  
Vielfach-Tunnelbarriere ausgebildet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die halbleitenden  
15 Schichten des Schichtstapels aus undotiertem Polysilizium gebildet werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die  
20 isolierenden Schichten des Schichtstapels aus Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid gebildet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei  
25 die halbleitenden Schichten des Schichtstapels mit einer Dicke im Bereich von 30 bis 50 nm und die isolierenden Schichten mit einer Dicke im Bereich von 2 bis 4 nm ausgebildet werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei  
30 die halbleitenden Schichten des Schichtstapels mit einer Dicke sowie einer Korngröße von maximal 2 nm und die isolierenden Schichten mit einer Dicke von maximal 1,5 nm ausgebildet werden.

16. Verfahren zum Betreiben einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung mit einer auf einem Substrat aufgebrachten ersten elektrisch isolierenden Schicht und einem auf der ersten elektrisch isolierenden Schicht aufgebrachten Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung;

- wobei das elektrische Potential auf dem Floating Gate über eine erste Gate-Elektrode gelesen wird; und
- die elektrische Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung über eine zweite Gate-Elektrode gesteuert wird,
- wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden ersten Gräben und einer in dem Schichtsystem ausgebildeten zweiten Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet sind.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei zum Lesen von Daten der Halbleiterspeicherelement-Anordnung eine elektrische Spannung an die erste Gate-Elektrode bei spannungsloser zweiter Gate-Elektrode angelegt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, wobei zum Schreiben oder Löschen von Daten der Halbleiterspeicherelement-Anordnung eine elektrische

Spannung an die zweite Gate-Elektrode bei spannungsloser erster Gate-Elektrode angelegt wird.

19. Halbleiterspeicherelement-Anordnung, bei der eine  
5 Mehrzahl von Halbleiterspeicherelementen in einer  
Mehrzahl von Zeilen und Spalten matrixartig angeordnet  
sind, wobei jedes Halbleiterspeicherelement aufweist

- eine auf einem Substrat aufgebrachte erste elektrisch isolierende Schicht,
- ein auf der ersten elektrisch isolierenden Schicht aufgebrachtes Schichtsystem aus einem Floating Gate und einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-Anordnung;
- eine zum Floating Gate benachbarte erste Gate-Elektrode zum Ermitteln der in dem Floating Gate gespeicherten Ladungsträger;
- und eine zur Tunnelbarrieren-Anordnung benachbarte zweite Gate-Elektrode, über welche die Ladungstransmission der Tunnelbarrieren-Anordnung steuerbar ist;
- wobei die erste und die zweite Gate-Elektrode in einer in dem Schichtsystem ausgebildeten ersten Grabenstruktur aus parallel zueinander angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden ersten Gräben und einer in dem Schichtsystem ausgebildeten zweiten Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Gräben angeordneten, sich bis zur ersten isolierenden Schicht erstreckenden zweiten Gräben ausgebildet sind.

**Zusammenfassung**

**Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicherelement-Anordnung, Verfahren zum Betreiben einer**

5   **Halbleiterspeicherelement-Anordnung und  
Halbleiterspeicherelement-Anordnung**

Bei einem Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterspeicher-element-Anordnung werden auf einem Substrat eine isolierende

10   Schicht und ein Schichtsystem aus einem Floating Gate und  
einer auf dem Floating Gate aufgebrachten Tunnelbarrieren-  
Anordnung aufgebracht. Benachbart zum Floating Gate wird eine  
erste Gate-Elektrode und benachbart zur Tunnelbarrieren-  
Anordnung eine zweite Gate-Elektrode ausgebildet, wobei die  
15   Gate-Elektroden in einer ersten Grabenstruktur aus parallel  
zueinander angeordneten ersten Gräben und einer zweiten  
Grabenstruktur aus parallel zueinander und senkrecht zu den  
ersten Gräben angeordneten zweiten Gräben ausgebildet werden.

20   Signifikante Figur 1f

**Bezugszeichenliste**

100 Halbleiterspeicherelement-Anordnung  
101 Siliziumsubstrat  
5 102 Source-Bereich  
103 Drain-Bereich  
104 erste elektrisch isolierende Schicht  
105 Floating Gate  
106 Barriereschicht  
10 107 Polysiliziumschicht  
108 Barriereschicht  
109 Polysiliziumschicht  
110 Barriereschicht  
111 Polysiliziumschicht  
15 112 zweite elektrisch isolierende Schicht  
113 Spacer  
114 erste Gräben  
115 zweite Gräben  
116 erste Grabenstruktur  
20 117 erste Gräben  
118 zweite Grabenstruktur  
119 zweite Gräben  
120 dritte elektrisch isolierende Schicht  
121 Polysiliziumschicht  
25 122 Polysiliziumspacer  
123 vierte elektrisch isolierende Schicht  
124 Polysiliziumschicht  
125 Polysilizium-Spacer  
126 fünfte elektrisch isolierende Schicht  
30 127 Wolfram-Schicht  
  
201 Photomaske  
202 Photomaske

203 Photomaske

300 Halbleiterspeicherelement-Anordnung

301 erste Grabenstruktur

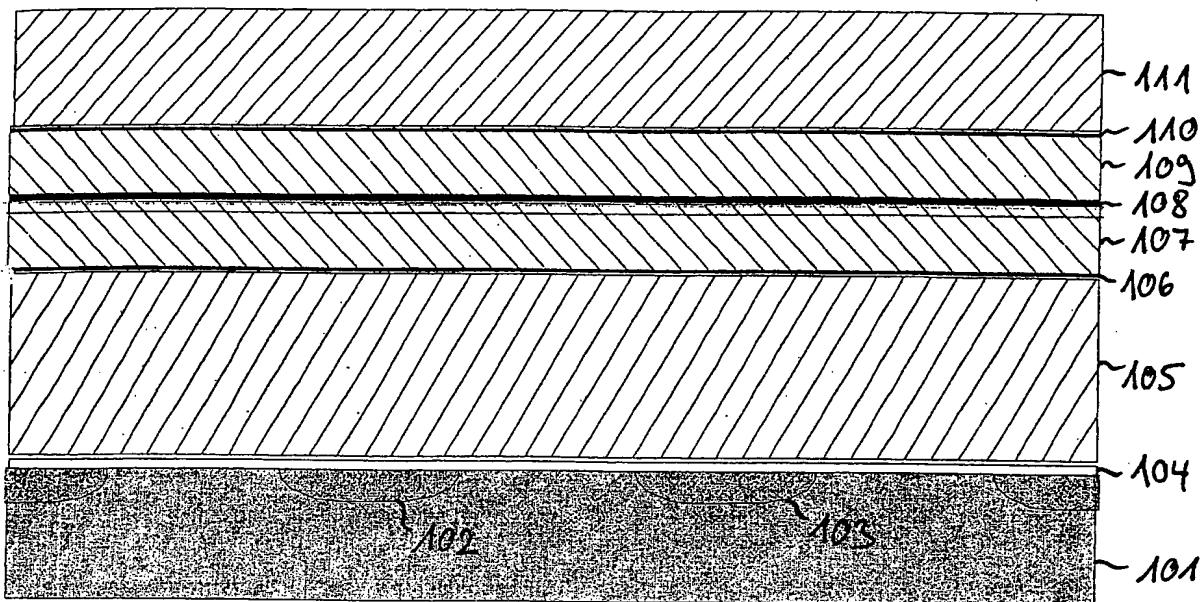
5 302 zweite Grabenstruktur

303 Pfeil

304 Gate-Elektrode

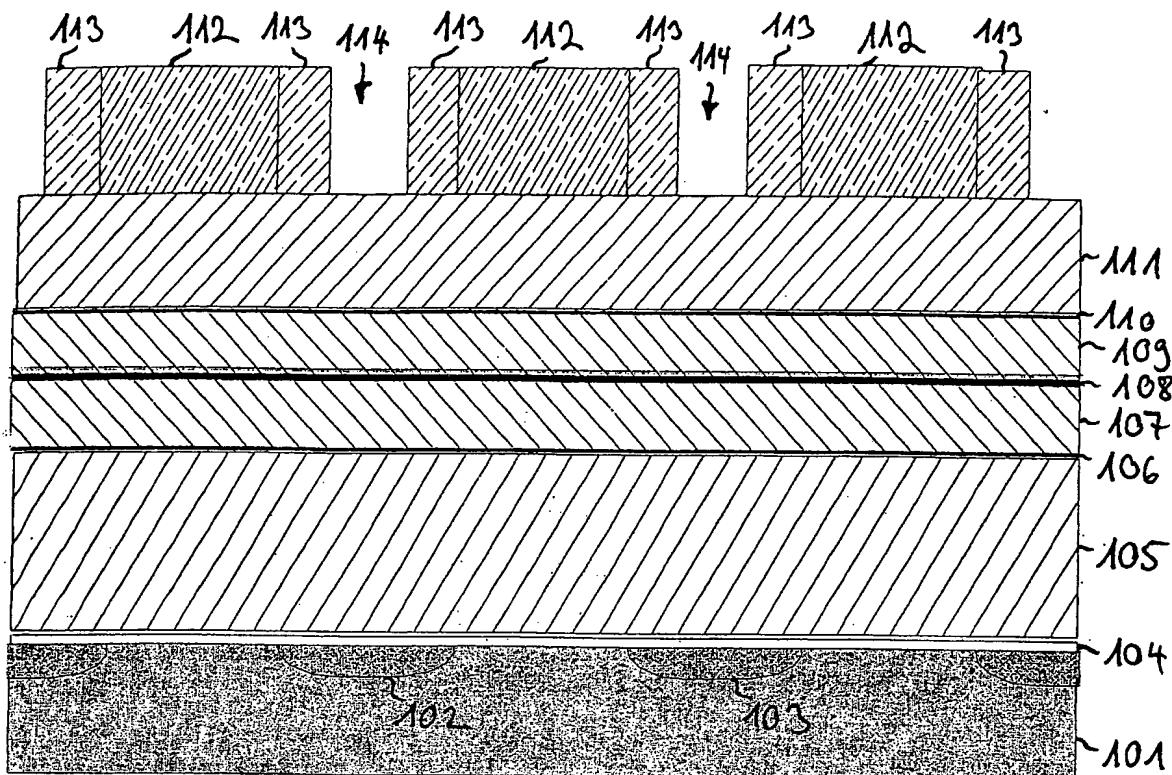
1114

Fig. 1 a



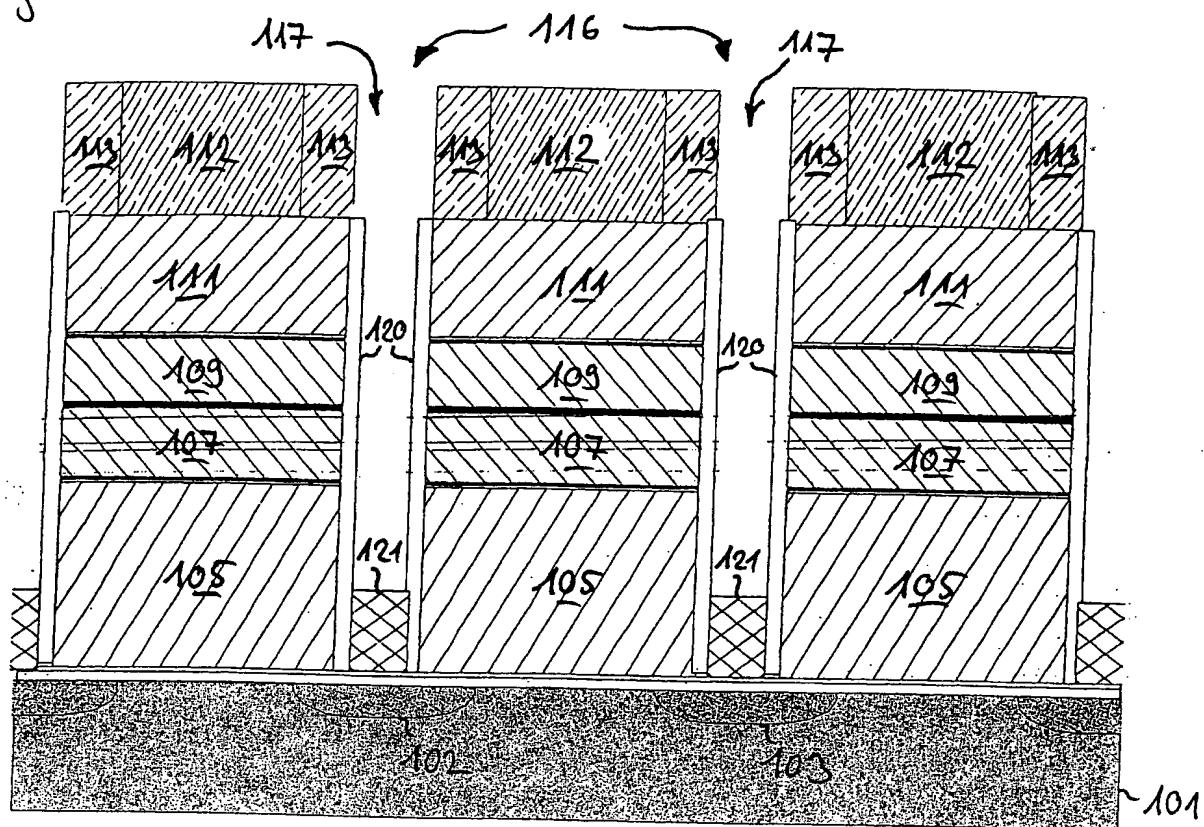
214

Fig. 16



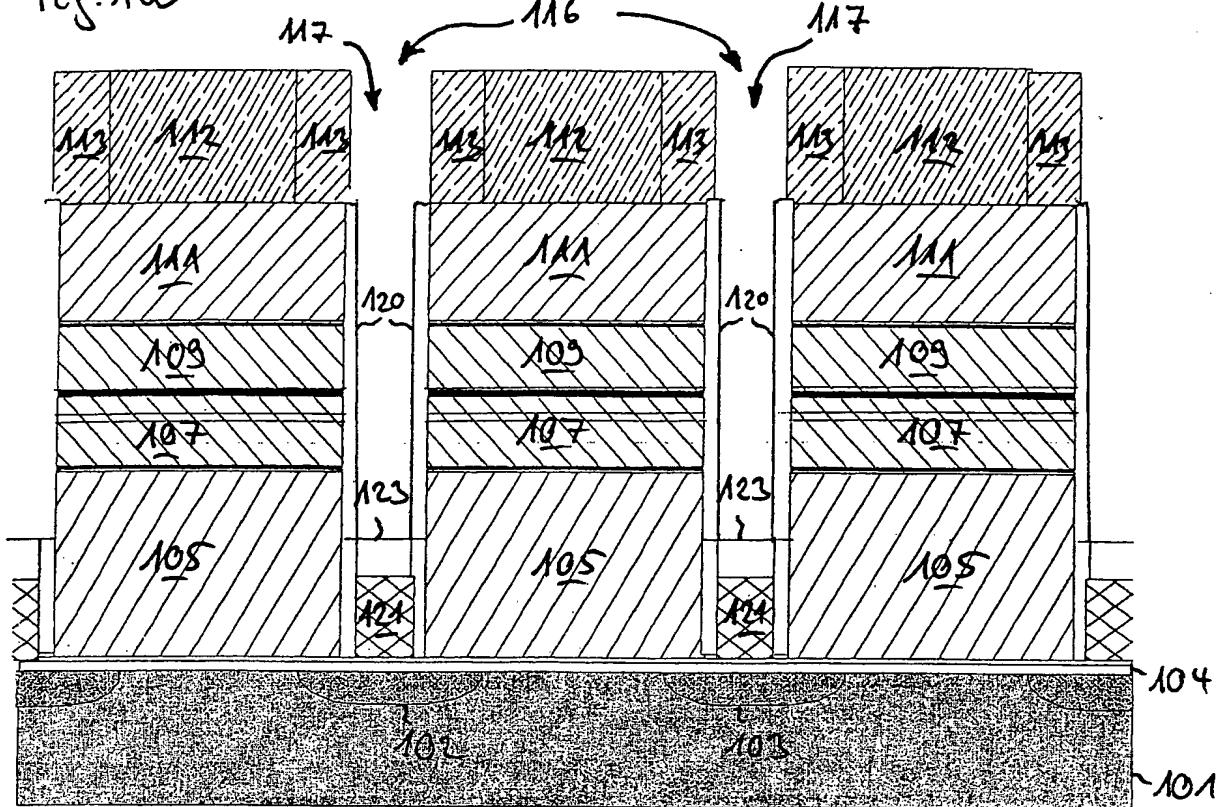
314

Fig. 1c



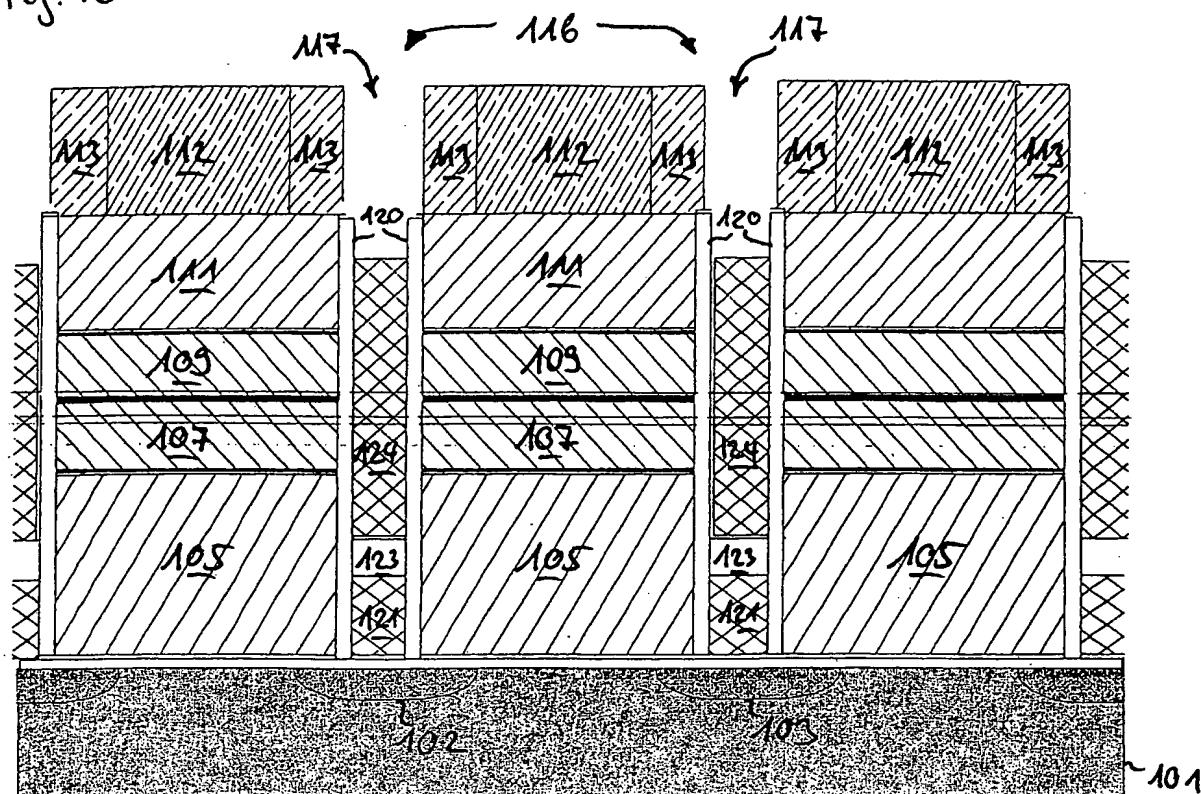
4/14

Fig. 1d



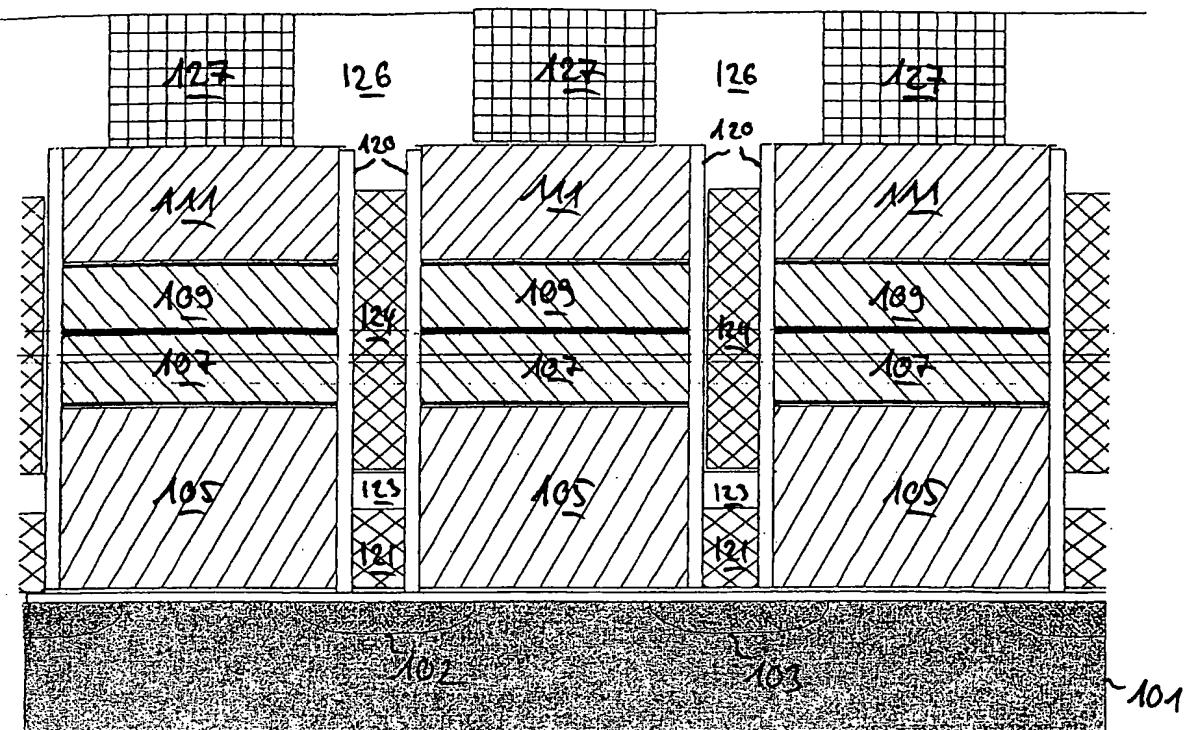
514

Fig. 1e



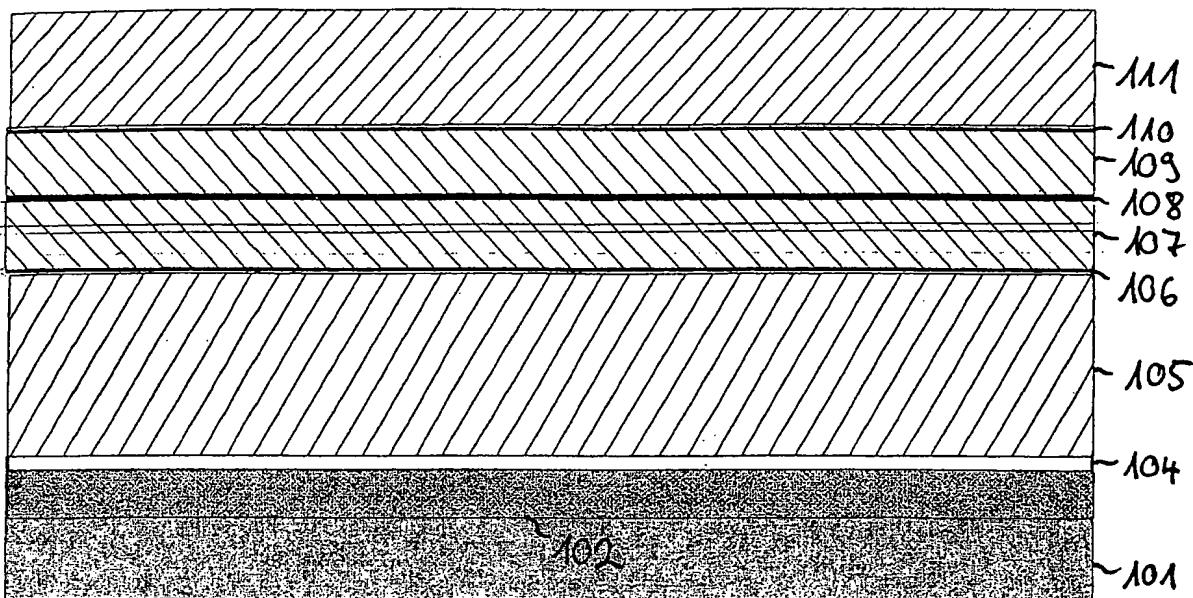
6/14

Fig. 1f



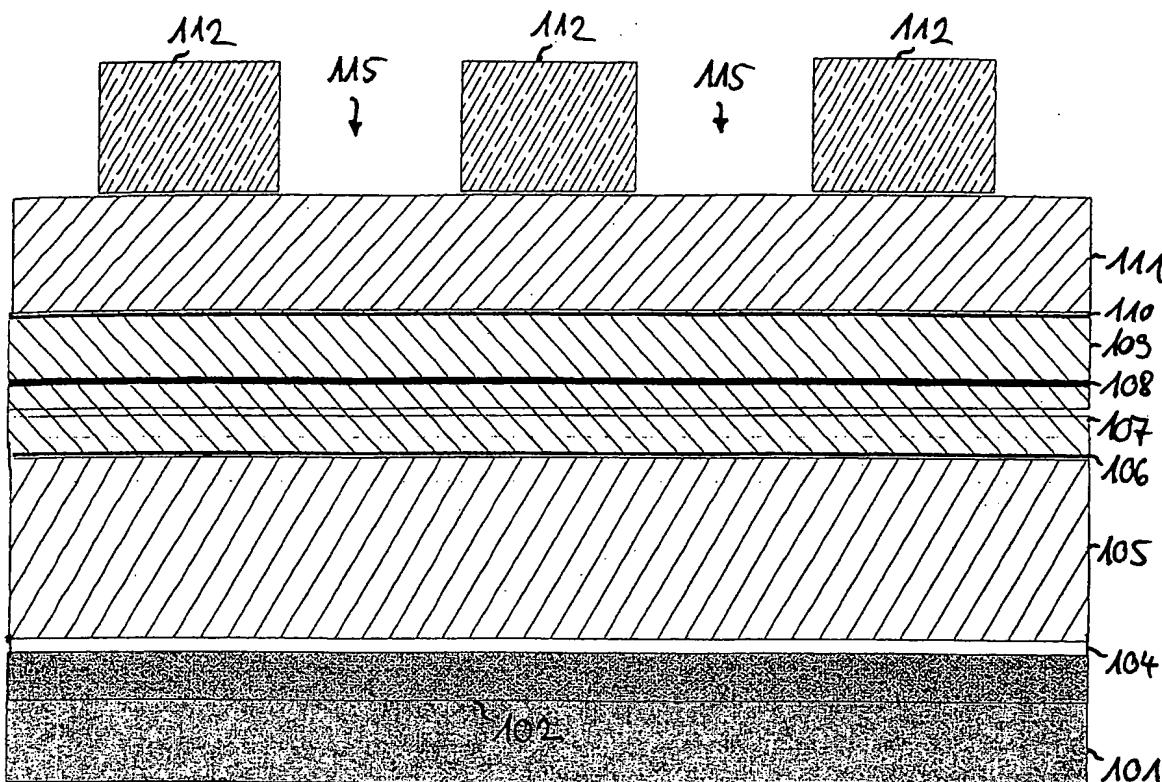
7/14

Fig. 2a



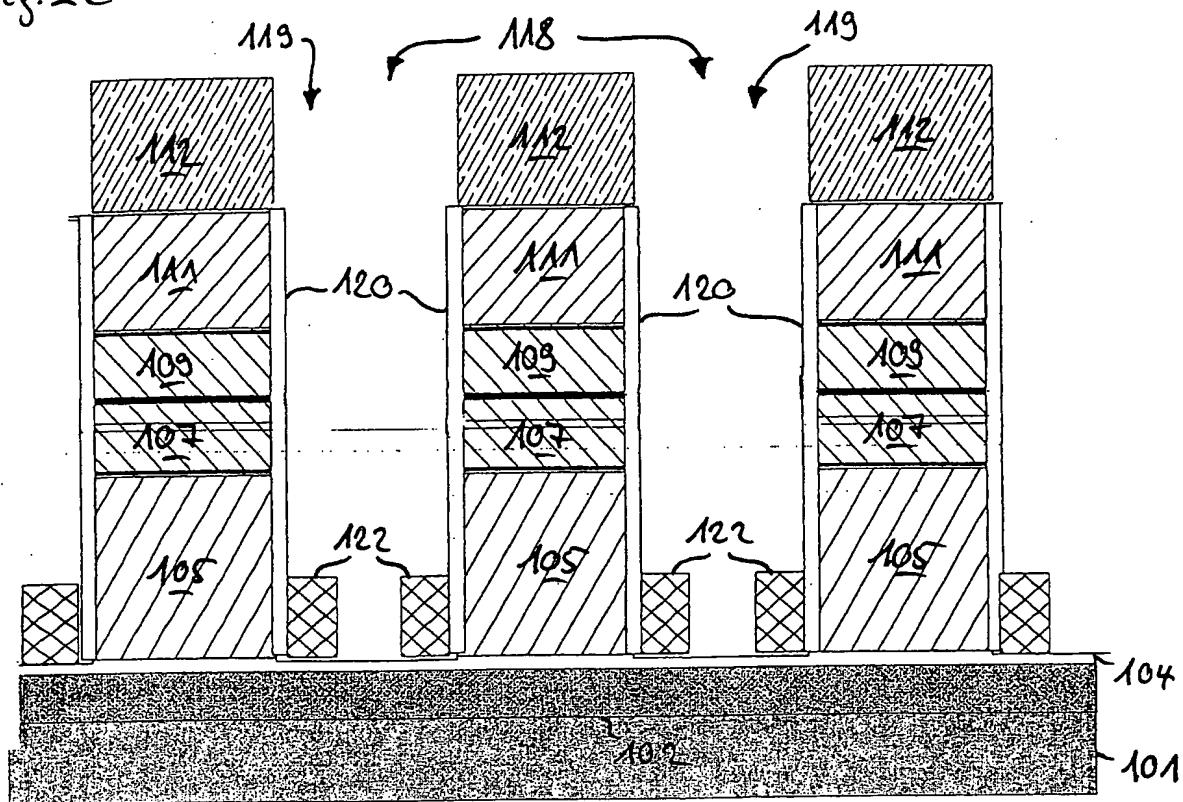
8/14

Fig. 26



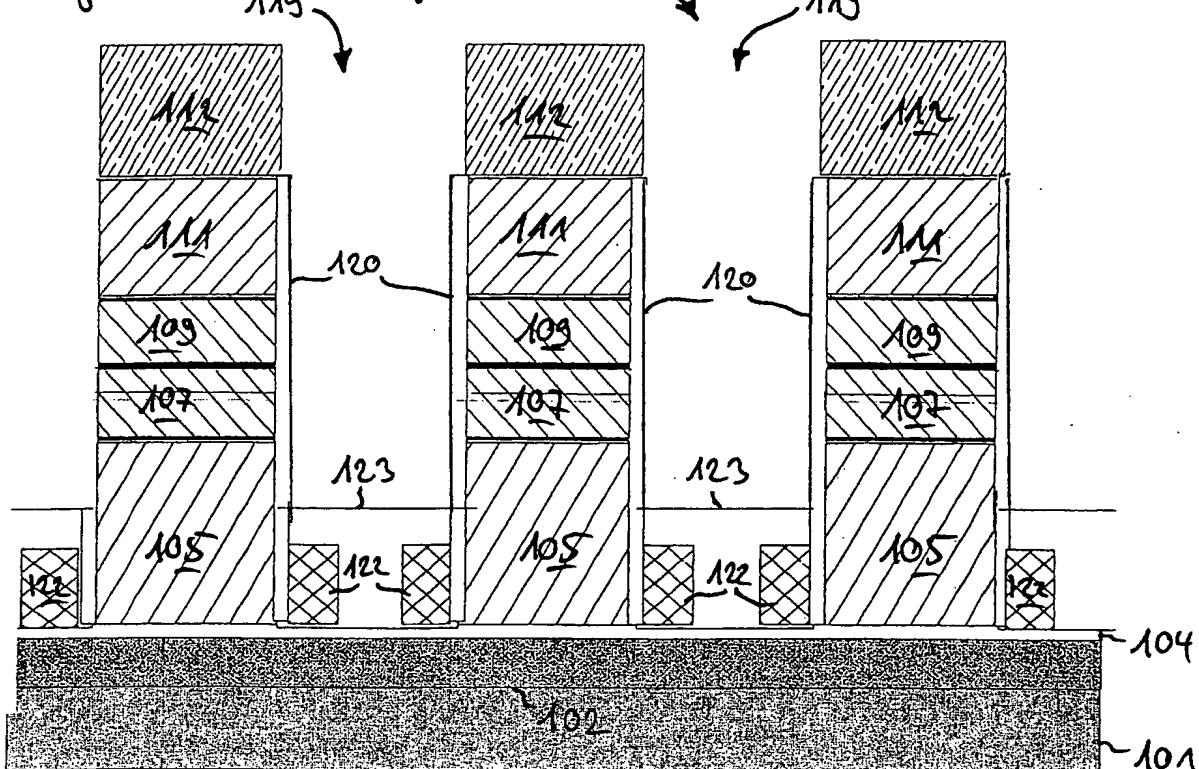
9114

Fig. 2c



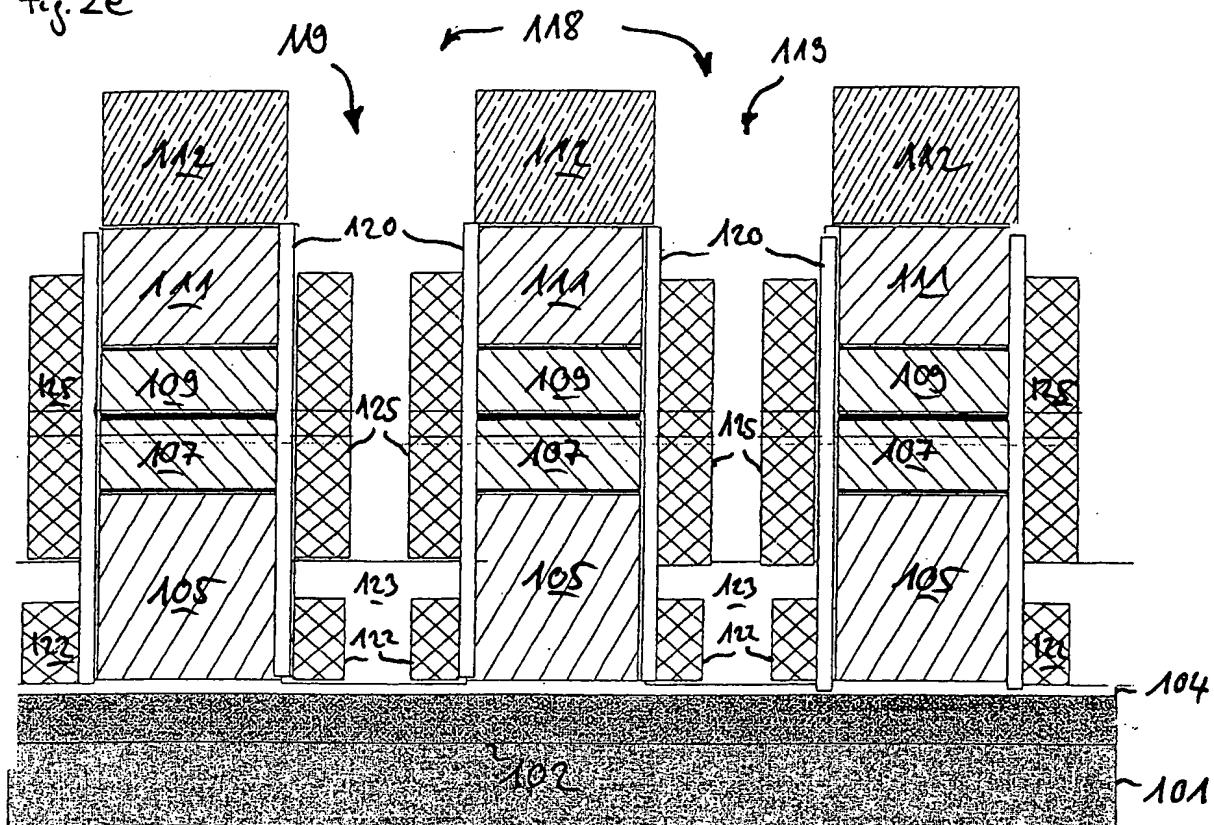
10114

Fig. 2d



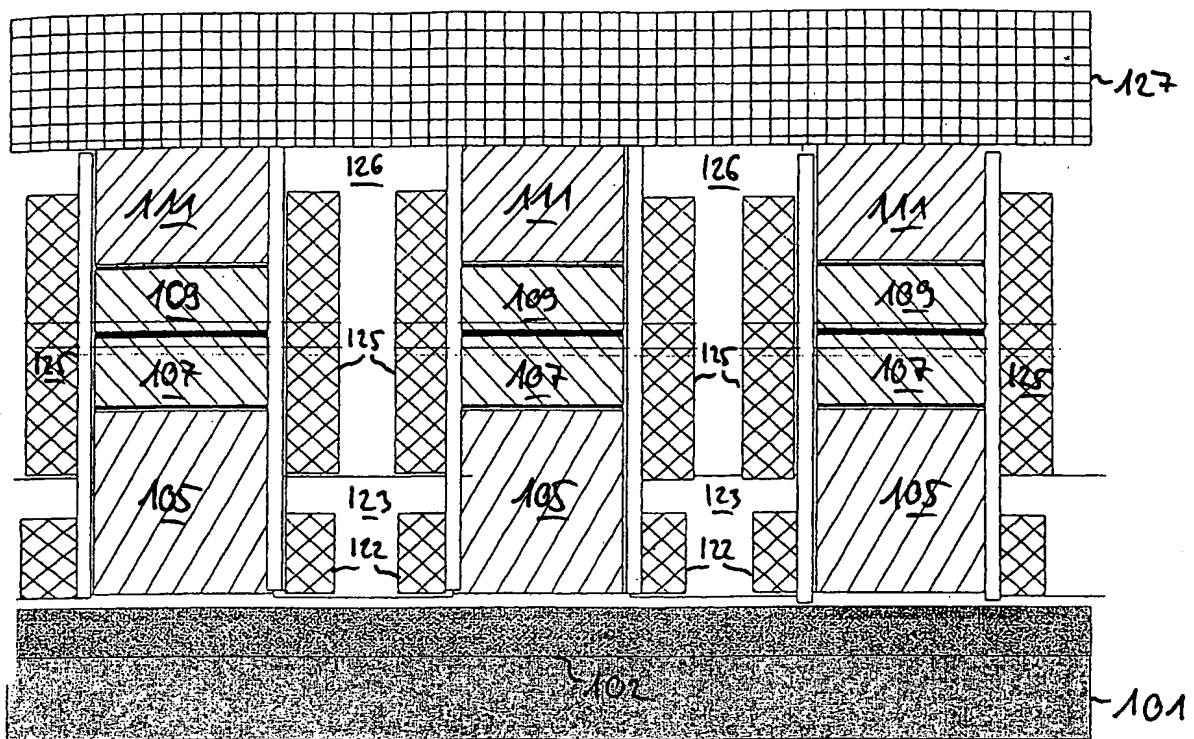
1114

Fig. 2e



12/14

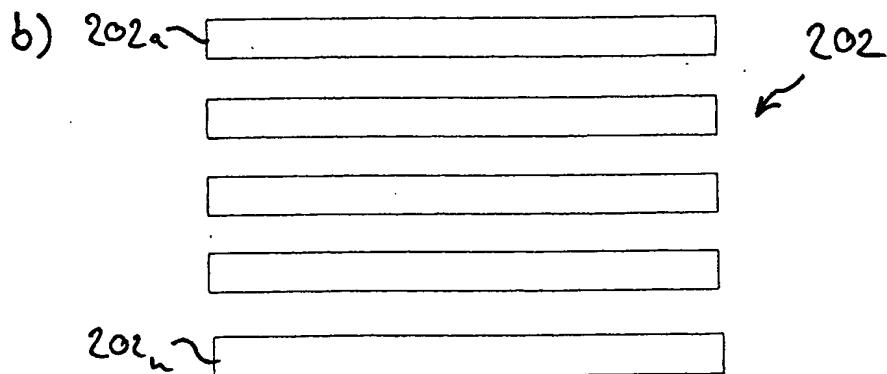
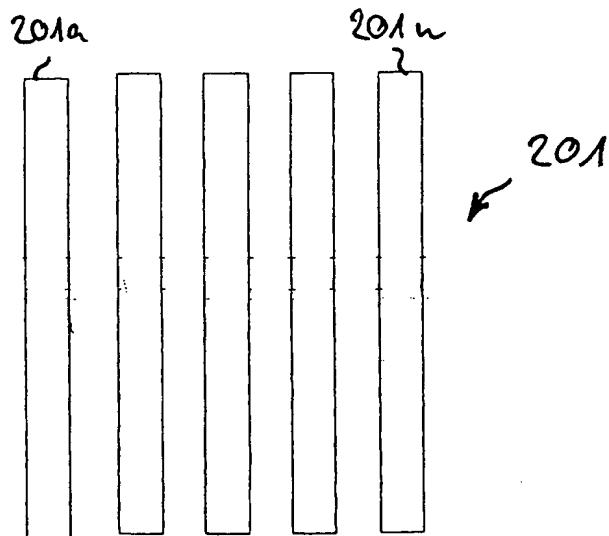
Fig. 2f



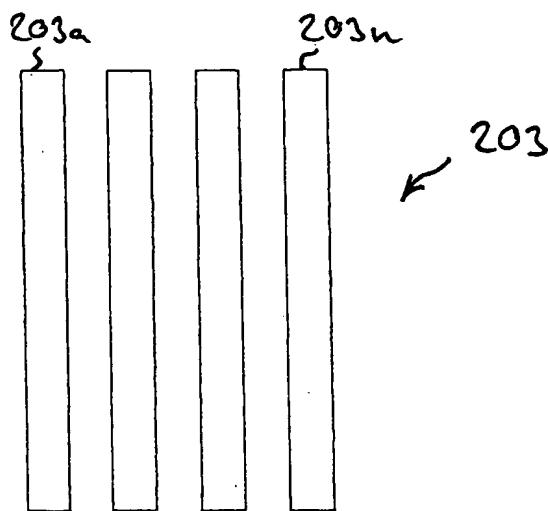
13/14

Fig. 3

a)

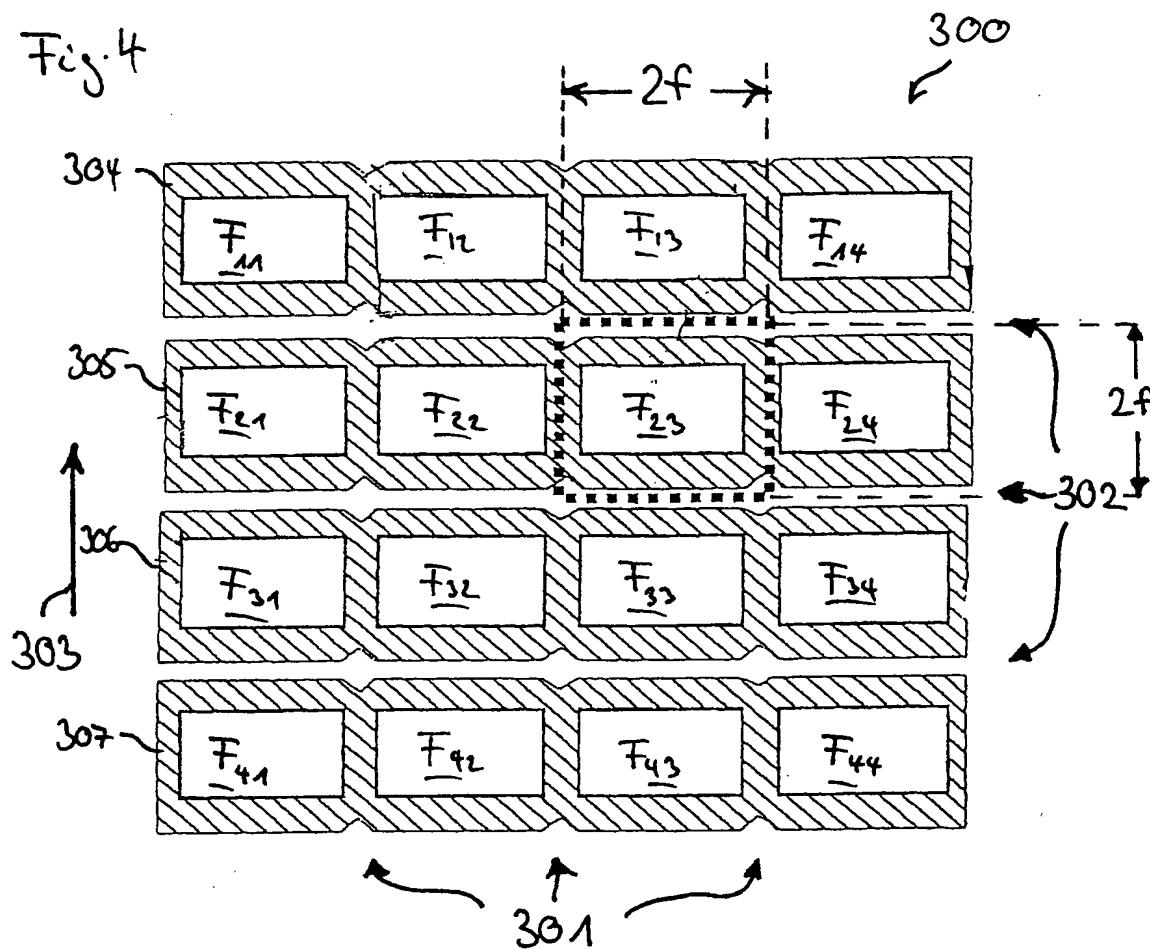


c)



14/14

Fig. 4



5

Fig. 5

	Gate1	Gate2	Daten-leitung	Drain	Source
<b>Schreiben</b>	0 V	+ 3 V	-3 V	0 V	0 V
<b>Lesen</b>	+3 V	0 V	0 V	+ 2 V	0 V
<b>Löschen</b>	0 V	+ 3 V	+3 V	0 V	0 V